

Konverter Perbaikan Faktor Daya (KPF) Hibrida Satu Tingkat

Moh. Zaenal Efendi¹

1). Jurusan Teknik Elektro Industri, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya
email : zen@eepis-its.edu

Abstrak

Pada makalah ini diajukan konfigurasi baru Konverter Perbaikan Faktor Daya KPF Hibrida Satu Tingkat yang merupakan hasil percampuran dua konverter Flyback dengan konverter Forward. Konverter Flyback beroperasi pada konduksi tidak kontinyu, sehingga bisa difungsikan sebagai perbaikan faktor daya alami. Sementara itu konverter Forward difungsikan sebagai regulator dc.

Konverter bertegangan output 20 Volt dan arus output sebesar 1-5 A didesain dan diuji melalui simulasi dan eksperimen. Dari hasil percobaan didapatkan faktor daya 0,95 dan harmonisa arus input yang rendah dan telah memenuhi standar harmonisa internasional IEC1000-3-2 kelas D.

Kata kunci : KPF Hibrida, IEC1000-3-2, konverter Flyback, konverter Forward

1. Pendahuluan

Peralatan yang dihubungkan dengan jaringan distribusi listrik biasanya membutuhkan daya dari rangkaian penyearah dioda yang akan mengakibatkan arus input tidak sinus murni. Rangkaian penyearah dioda mengubah tegangan input AC menjadi tegangan output DC. Rangkaian penyearah ini dibutuhkan oleh peralatan elektronik dengan daya yang relatif rendah, seperti komputer, televisi, peralatan kantor, charger baterai, ballast elektronik dan peralatan rumah tangga. Sebuah filter kapasitor cukup besar biasanya dihubungkan dengan output penyearah untuk mendapatkan tegangan output dc dengan riak (ripple) yang kecil. Tetapi akibatnya, arus inputnya mengandung harmonisa tinggi dan faktor daya rendah.

Untuk mereduksi harmonisa yang tinggi dan memperbaiki faktor daya dari rangkaian penyearah diatas dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya adalah : (1). Memasang filter pasif yang terdiri dari induktor dan kapasitor terhadap jaringan. Tetapi penyelesaian ini tidak disukai karena

menambah ukuran dan berat penyearah karena bekerja pada frekwensi rendah 50-60 Hz. (2). Menambah pra-regulator perbaikan faktor daya atau disebut Konverter Perbaikan Faktor Daya (KPF) Dua Tingkat (*Two Stage PFC Converter*) yang biasanya menggunakan konverter Boost [1],[2] dan Buck [3],[4]. KPF ini dapat menghasilkan arus input berbentuk sinus, faktor daya satu dan harmonisa rendah. Tetapi KPF Dua Tingkat ini mempunyai kelemahan yaitu membutuhkan banyak komponen, efisiensinya rendah, sistem kontrolnya sangat kompleks dan biayanya cukup mahal.

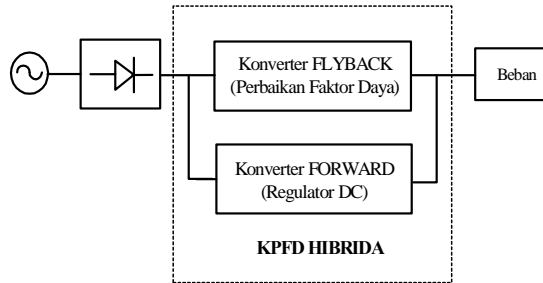
Untuk mengatasi kelemahan-kelemahan tersebut, maka dikembangkan KPF Satu Tingkat (*Single Stage PFC Converter*) yang mempunyai konfigurasi lebih sederhana sehingga kontrolnya sangat mudah dan biayanya lebih murah.

Beberapa teknik KPF Satu Tingkat telah dipublikasikan dan umumnya bisa dikategorikan menjadi: 1). Integrasi Boost-Flyback dan Integrasi Boost-Buck/Forward [5],[6],[7]. 2). Pengembangan konfigurasi dari konverter dc-dc [8],[9]. 3). Konfigurasi dengan Penyaklaran Lunak (Soft Switching/Active Clamping) [10],[11] dan 4). Rangkaian paralel antara dua konverter.

Makalah ini mengajukan konfigurasi baru KPF Satu Tingkat menggunakan teknik percampuran atau hibrida antara dua konverter konverter Flyback dan konverter Forward yang berbeda dengan dengan konfigurasi sebelumnya. KPF Hibrida Satu Tingkat ini didesain untuk memenuhi standar harmonisa internasional IEC1000-3-2 kelas D, mempunyai faktor daya tinggi mendekati satu dan kandungan harmonisa arus input rendah.

2. Konfigurasi Konverter

Blok diagram Konverter Perbaikan Faktor Daya (KPF) Hibrida Satu Tingkat yang diajukan ini terlihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Konfigurasi rangkaian KPFD Hibrida Satu Tingkat yang diajukan

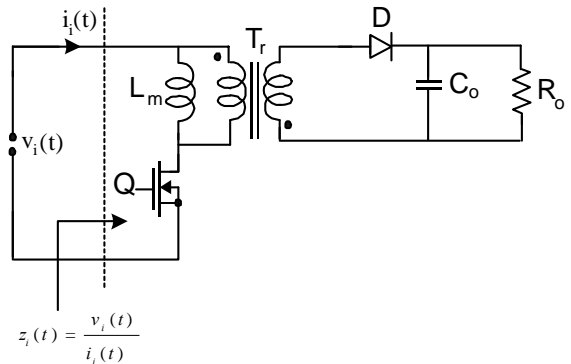
Dari blok diagram pada Gambar 1, konfigurasi rangkaian konverter perbaikan faktor daya (KPFD) yang diusulkan terlihat pada Gambar 2.

Konfigurasi ini memadukan konverter yang berfungsi sebagai perbaikan faktor daya dan regulator dc dalam satu tingkat.

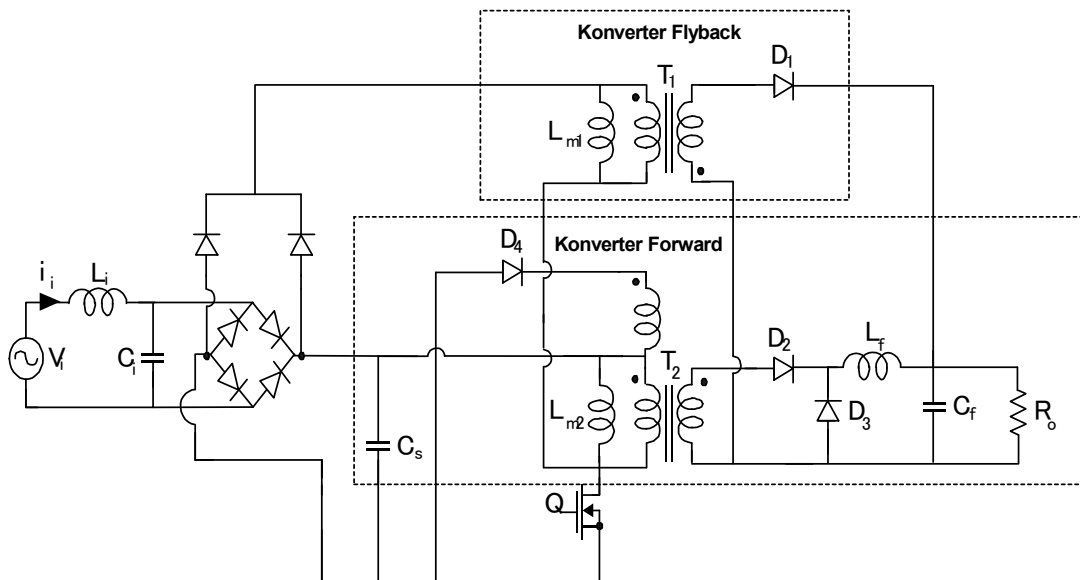
Rangkaian ini terdiri dari konverter Flyback dan konverter Forward yang dirangkai secara paralel.

transformator T_2) berfungsi sebagai regulator dc-dc. Konfigurasi konverter ini hanya menggunakan satu saklar utama (MOSFET/IGBT) sehingga cukup efisien.

Prinsip dasar perbaikan faktor daya sebuah konverter dapat dijelaskan dengan sebuah konverter Flyback seperti Gambar 3 yang bekerja pada konduksi tidak kontinyu dan dimodelkan mempunyai impedansi input (z_i) yang dihitung dari tegangan input dan arus input pada satu periode switching.



Gambar 3. Konverter Flyback bekerja pada konduksi tidak kontinyu



Gambar 2. Rangkaian KPFD Hibrida Satu Tingkat

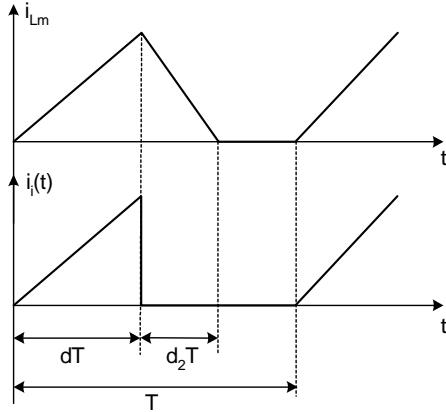
Konverter Flyback (atas, dengan transformator T_1) difungsikan sebagai konverter perbaikan daya alami (natural rectifier) yang bekerja pada konduksi tidak kontinyu, karena bila suatu konverter bekerja pada konduksi tidak kontinyu maka dapat dicapai faktor daya yang baik[5]. Sementara itu konverter Forward (dengan

Dari Gambar 4 dapat ditentukan arus input seperti pada persamaan 1.

$$i_i(t) = \frac{\frac{1}{2} i_{L_m} dT}{T} \quad (1)$$

Dan diketahui arus induktor magnetisasi i_{Lm} :

$$i_{Lm} = \frac{v_i(t)dT}{L_m} \quad (2)$$



Gambar 4. Bentuk arus induktor magnetisasi dan arus input pada operasi konduksi tidak kontinyu

Dari hasil substitusi persamaan 1 dan 2, maka arus input adalah :

$$i_i(t) = \frac{\frac{1}{2} \frac{v_i(t)dT}{L_m} dT}{T} = \frac{v_i(t)d^2T}{2L_m} \quad (3)$$

Sehingga impedansi input dapat ditentukan seperti pada persamaan 4.

$$z_i(t) = \frac{v_i(t)}{i_i(t)} = \frac{2L_m}{d^2T} \quad (4)$$

Dari persamaan 4 diketahui impedansi input (z_i) tergantung dari nilai induktor, periode switching dan duty cycle. Jika konverter Flyback dipastikan bekerja pada konduksi tidak kontinyu dan duty cyclenya konstan, maka impedansi input (z_i) menjadi konstan. Akibatnya arus $i_i(t)$ mengikuti bentuk dari tegangan input dan Flyback menjadi konverter perbaikan faktor daya (KPFDP/PFC)

3. Desain dan Pengujian

Untuk menverifikasi performansi konfigurasi konverter perbaikan faktor daya (KPFDP) Hibrida yang

diajukan, didesain sebuah konverter dengan parameter sebagai berikut :

Tegangan input AC : 100 Volt

Frekwensi switching : 67 kHz

Tegangan output : 20 Volt

Transformator T_1 : $N_{11}:N_{12} = 2:1$

Induktor magnetisasi : $L_{m1}=70\mu H$

Inti PQ 3220

Transformator T_2 : $N_{21}:N_{22} = 2:1$

Induktor magnetisasi : $L_{m2}=350\mu H$

Inti PQ 32/20

Saklar Q : MOSFET 1XFK21N1000 (1000V, 21A)

Dioda D_1 and D_2 : F40U60DN (ultra fast recovery diode)

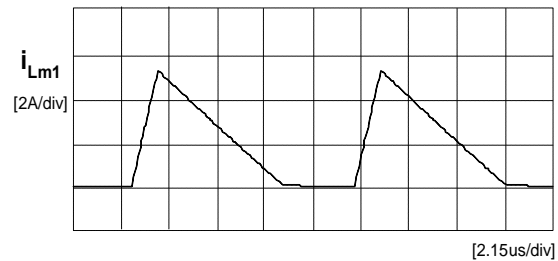
Kapasitor penyimpan $C_s = 470 \mu F, 450 V$

Kapasitor filter output $C_o = 2 \times 2200 \mu F, 50 V$

Dioda D_3 and D_4 : F40U60DN (ultra fast recovery diode)

Induktor $L_f=500 \mu H$ dengan inti PQ 3535

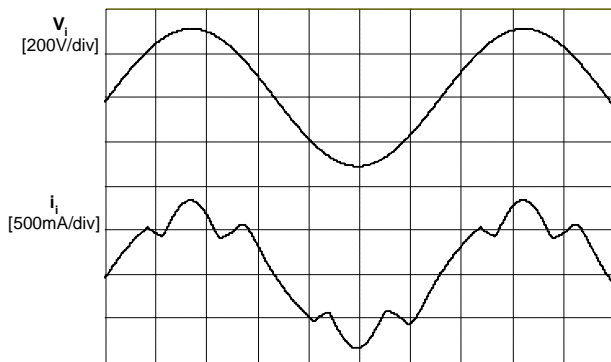
Pengujian performansi desain konverter dilakukan dengan membuat simulasi menggunakan program SCAT K460PR1[18]. Parameter utama yang diamati adalah arus induktor magnetizing pada transformator konverter Flyback untuk memastikan konverter bekerja pada konduksi tidak kontinyu. Gambar 5 menunjukkan bentuk arus induktor magnetizing pada operasi konduksi tidak kontinyu.



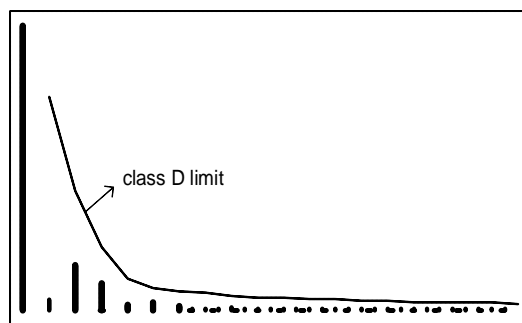
Gambar 5. Arus induktor magnetisasi pada operasi konduksi tidak kontinyu

Sedang parameter lain yang diamati adalah tegangan input, arus input dan spektrum harmonisanya pada setiap perubahan beban. Gambar 6 dan 7 menunjukkan tegangan input, arus input dan spektrum harmonisa, terlihat bahwa spektrum harmonisa arus input telah memenuhi standar harmonisa internasional IEC1000-3-2 kelas D.

Dari hasil simulasi diketahui bahwa KPFDP Hibrida ini telah memenuhi standar harmonisa internasional IEC61000-3-2 untuk beban kelas D dengan faktor daya 0.9824.



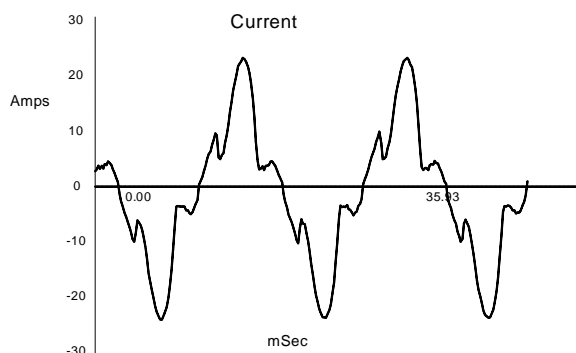
Gambar 6. Tegangan dan arus input



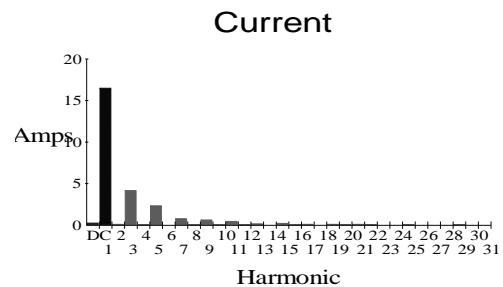
Gambar 7. Spektrum harmonisa arus input

Sedangkan pengujian hardware secara lengkap KPFHD Hibrida yang diajukan ini dilakukan menggunakan alat ukur Fluke 4.1B.

Parameter utama yang diamati adalah arus input dan faktor daya berdasarkan arus beban/arus output (I_o). Gambar 8 dan 9 menunjukkan bentuk arus input dan spektrum harmonisanya.

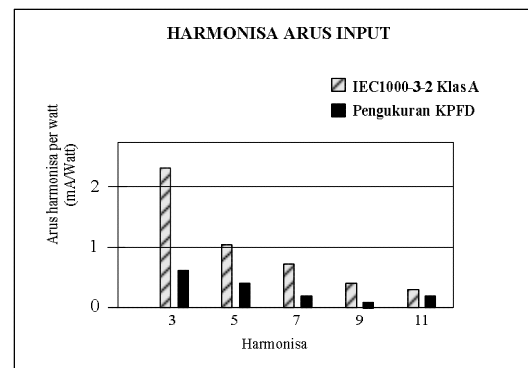


Gambar 8. Bentuk arus input



Gambar 9. Spektrum harmonisa arus input

Berdasarkan data pengukuran, perbandingan harmonisa klas A arus input pada beban 3 A terlihat pada Gambar 10.

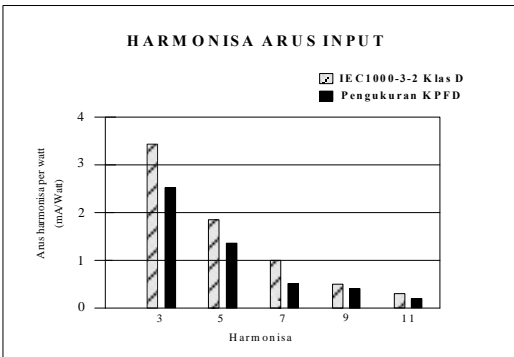


Gambar 10. Perbandingan harmonisa klas A arus input

Terlihat bahwa konverter ac-dc satu fasa dengan perbaikan faktor daya yang diajukan ini memenuhi standar harmonisa IEC1000-3-2 untuk kategori beban klas A seperti peralatan multimedia, printer, scanner, mesin fax dan peralatan telekomunikasi.

Dan perbandingan harmonisa klas D arus input pada beban 3A terlihat pada Gambar 11. Secara umum konverter ini juga memenuhi standar harmonisa IEC1000-3-2 klas D, sehingga konverter ini dapat diaplikasikan sebagai pencatu daya kategori klas D seperti komputer, monitor dan televisi.

Dari seluruh pengujian yang telah dilakukan, konverter ac-dc satu fasa dengan perbaikan faktor daya yang diajukan ini mempunyai faktor daya maksimum sekitar 0.95 dan secara umum memenuhi standar harmonisa IEC1000-3-2 klas A dan klas D.



Gambar 11. Perbandingan harmonisa klas D arus input

4. Kesimpulan

Makalah ini telah memaparkan konfigurasi baru konverter perbaikan faktor daya dengan menggunakan rangkaian paralel Flyback-Forward. Dengan menggunakan SCAT K460PR1 telah didesain converter bertegangan output 20 Volt dan arus output maksimum 5 A. Dari hasil simulasi dan eksperimen, konverter ini telah memenuhi standar harmonisa internasional IEC1000-3-2 klas A dan klas D dengan faktor daya sebesar 0.95.

Pustaka Acuan

- [1] Dragan Maksimovic, Robert W Erickson, "Universal Input, High Power Factor Boost Doubler Rectifiers", IEEE Applied Power Electronics Conference, 1995
- [2] Marek Gotfryd, "Output Voltage and Power Limits in Boost Power Factor Corrector Operating in Discontinuous Inductor Current Mode", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.15, No.1, Januari 2000
- [3] Hisahito Endo, Takashi Yamashita, Toshiyuki Sugiura, "A High Power Factor Buck Converter", IEEE Applied Power Electronics Conference, 1992
- [4] Giorgio Spiazzi, Simone Buso, "Power Factor Regulators Based on Combined Buck Flyback Topologies", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.15, No.2, Maret 2000
- [5] Robert W Erickson, M. Madigan, S. Singer, "Design of a Simple High Power Factor Rectifier Based on Flyback Converter", IEEE Applied Power Electronics Conference, 1990
- [6] M. Madigan, Robert W Erickson, Esam Ismail, "Integrated High Quality Rectifier Regulators", IEEE Power Electronics Specialist Conference, 1992
- [7] Jinrong Qian, Qun Zhao, Fred C. Lee, "Single-stage Single-switch Power Factor Correction (S⁴-PFC) AC/DC Converter with DC Bus Voltage Feedback for Universal Line Applications", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.13, No.6, Nov 1999
- [8] Oscar Garcia, Jose A. Cobos, Pedro A. Roberto P., "Simple Single Switch AC/DC Converter With Fast Output Voltage Regulation", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.17, No.2, March 2002
- [9] Hua-Min Xu, Xin Bo Ruan, Yang G Yan, "A Novel Forward Single Stage Single Switch Power Factor Correction AC/DC Converter", PESC-IEEE 2001 Record, Vol.2, pp.754-759, June 2001
- [10] Chun-feng JIN, Tamotsu Ninomiya, "A Novel Soft-Switched Single-Stage AC-DC Converter with Low line-current harmonics and Low output-voltage ripple", PESC-IEEE 2001 Record, Vol.2, pp.660-665, June 2001
- [11] T.-F. Wu, S.-A. Liang, C.-H. Lee, "A Family of Isolated Single-Stage ZVS-PWM Active-Clamping Converters", PESC-IEEE 1999 Record, Vol.2 pp.665-670, 1999
- [12] Chun-feng JIN, Tamotsu Ninomiya, Masahito Shoyama, Shin Nakagawa, "Input Current Reduction and Output Voltage Tight Regulation by a Novel Single Stage AC-DC Converter", Transaction of IEICE Japan, Vol.J83, No.11, November 2000
- [13] Hernan E. Tacca, "Power Factor Correction Using Merged Flyback-Forward Converters", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.15, No.4, Juli 2000
- [14] Michihiko Nagao, "A Novel One-Stage Forward-Type Power factor Correction Circuit", IEEE Transaction on Power Electronics, Vol.15, No.1, Januari 2000
- [15] <http://www.astec.com/reference/appnotes/AN140.pdf>
- [16] <http://www.laplaceinstruments.com/standards/6100032.htm>
- [17] http://www.npl.co.uk/electromagnetic/dclf/harmonics/regulating_currents.htm
- [18] <http://www.keisoku.co.jp/pw/scatfaq/>
- [19] Robert W Erickson, D. Maksimovic, "Fundamentals of Power Electronics", Kluwer Academic Publishers, Second Edition, 2001, pp. 646-648
- [20] Abraham I. Pressman, "Switching Power Supply Design", McGRAW-HILL International, International Edition, 1999